



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФИЦ КазНЦ РАН  
академик РАН, д.х.н.

  
О.Г. Синяшин

27.01.2020г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Суховой Екатерины Александровны** «Разработка системы выхлопа поршневого двигателя внутреннего сгорания малой мощности с улучшенными характеристиками для беспилотных летательных аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертация изложена на 113 страницах и состоит из введения, четырех глав, перечня основных результатов и выводов, списка используемой литературы и четырех приложений. Во введении сформулированы цель работы, её научная новизна, теоретическая и практическая значимость, даны сведения об апробации работы.

В первой главе представлен обзор имеющихся в литературе экспериментальных и теоретических исследований по выхлопной системе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) малой мощности. Автор дает краткое описание методов оценки и снижения уровня шума в известных типах глушителей. На основе демонстрации примеров практического применения глушителей ДВС малой мощности сформулированы актуальные, но нерешенные до сих пор в полной мере технические и научные проблемы, сформулированы цели диссертационной работы. В выводах к первой главе констатируется почти полное отсутствие опубликованных исследований по теме решаемых в данной диссертационной работе задач.

Во второй главе диссертации подробно описана конструкция и принцип работы созданного автором экспериментального моторного стенда для оценки эффективности шума системы выхлопа ДВС малой мощности, представлены методики измерения акустических и гидравлических характеристик глушителя. Также описаны методы обработки результатов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КазНЦ РАН)	
Технической университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (НИИТ-КАИ)	
Вх. №	594
от «30»	01 2020г.

экспериментальных измерений. На основе результатов оценки уровня шума и гидравлического сопротивления нескольких вариантов глушителей для ДВС малой мощности была выбрана оптимальная конструкция для дальнейшего решения поставленных в диссертационной работе задач.

В третьей главе диссертационной работы подробно описана конструкция и принцип работы созданного автором экспериментального безмоторного стенда для моделирования основных гармоник в частотном спектре акустического сигнала, записанного для выхлопной системы одноцилиндрового ДВС. По результатам экспериментов показано, что «энергонесущие» частоты в полученных спектрах кратны заданным частотам пульсатора, который при исследовании акустических характеристик выхлопной системы можно использовать как имитатор одноцилиндрового ДВС. Данный этап выполнения научного исследования позволил автору не только предложить конструкцию двухкамерного глушителя с плоской перегородкой для ДВС беспилотных летающих аппаратов (БПЛА), но и показать её эффективность по сравнению с существующими серийными аналогами. На основании этого результата можно утверждать, что в данной диссертационной работе предложено новое и эффективное техническое решение подавления шума в ДВС малой мощности.

В четвёртой главе представлены результаты численного моделирования, целью которого была дальнейшая оптимизация разрабатываемой системы выхлопа. Данный процесс оптимизации позволил автору сформулировать несколько полезных рекомендаций для проектирования подобных изделий, а также выдвинуть тезис о том, что диссипация энергии волны сжатия газов происходит за счет генерации в камерах глушителя интенсивных торoidalных вихрей и эффекта дросселирования.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам работы диссертанта, которые свидетельствуют о решении поставленных задач исследования.

Отметим следующие наиболее важные новые научные результаты диссертационной работы:

1. Экспериментально определены исходные данные для исследования газодинамических и акустических характеристик системы выпуска ДВС малой мощности.
2. Экспериментально установлено, что спроектированный автором диссертации двухкамерный глушитель шума с плоской

перегородкой превосходит существующие аналоги по акустическим и газодинамическим характеристикам и является оптимальным для БПЛА.

3. Показано, что диссипация энергии волны сжатия газов в глушителе происходит за счет генерации в камерах глушителя интенсивных тороидальных вихрей и эффекта дросселирования

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Выводы по диссертации полностью отражают основные результаты, полученные соискателем.

К содержанию диссертационной работы имеются замечания:

1. Раздел 4.1. Понятие среднего по объему значения параметра  $u^+$  является бесполезным, так как определяющей результаты численного моделирования характеристикой являются предельные значения этого параметра. При использовании стандартной функции стенки высота пристеночных узлов должна соответствовать логарифмическому участку турбулентного пограничного слоя. Максимальные значения  $u^+$  порядка 4-11 в областях  $V_3-V_7$  искусственно занижают толщину пограничного слоя, что могло сказаться на величине гидравлического сопротивления проточного тракта. При использовании неструктурированной тетраэдральной сетки в топологически сложных геометрических областях ( $V_3-V_7$ ) на стенках для корректного применения функции стенки, а именно для обеспечения более или менее равномерного распределения значения  $u^+$ , рекомендовано наличие слоя из гексаэдральных элементов.
2. Во введении Главы 4, автор пишет, что на этапе проектирования изделия численное моделирование позволяет существенно сократить большой объем экспериментальных исследований и, соответственно, снизить финансовые затраты на их проведение. Этот тезис не соответствует плану выполнения данной научной работы, где сначала было проведено обширное экспериментальное исследование с изготовлением нескольких образцов и стенда и лишь потом одна конструкция двигателя была рассчитана численно.

Отмеченные замечания не влияют, однако, на общую положительную оценку диссертации. Работа прошла необходимую апробацию как по части публикаций, так и по участию соискателя в научных конференциях.

Цель работы достигнута, а поставленные задачи выполнены.

Результаты работы безусловно могут быть полезными для организаций, занимающихся разработкой и проектированием аппаратов с двигателями внутреннего сгорания малой мощности, что подтверждено актом внедрения результатов диссертационной работы (Приложение «Г»). Спроектированные и изготовленные экспериментальные стенды используются при проведении лабораторных работ в КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева.

По объему выполненных исследований, научной новизне и практической значимости диссертация является законченным научным трудом и содержит все компоненты, позволяющие классифицировать её как соответствующую требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденному Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., в части, касающейся диссертаций на соискание степени кандидата наук и паспорту специальности 05.07.05, а её автор Суховая Екатерина Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Диссертация Суховой Е.А. заслушивалась и обсуждалась на расширенном семинаре лаборатории Гидродинамики и теплообмена Института энергетики и перспективных технологий – структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (протокол № СП/8-01-01/05.2019 от «29» октября 2019 г., на заседании присутствовало 22 человека). Отзыв ведущей организации на диссертацию Суховой Екатерины Александровны подготовлен сотрудником лаборатории Гидродинамики и теплообмена ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН к.т.н., н.с. Саушиным И.И..

Научный сотрудник  
лаборатории гидродинамики  
и теплообмена ИЭПТ ФИЦ  
КазНЦ РАН, кандидат  
технических наук по  
специальности 01.02.05  
[ilyasaushin@mail.ru](mailto:ilyasaushin@mail.ru)  
тел.: +7(843)212-55-79



Саушин Илья Ирекович  
27.01.2020

Руководитель ИЭПТ ФИЦ  
КазНЦ РАН, заведующий  
лабораторией  
Гидродинамики и  
теплообмена ИЭПТ ФИЦ  
КазНЦ РАН, доктор  
технических наук по  
специальностям 01.02.05 и  
01.04.14, профессор  
[n.miheev@mail.ru](mailto:n.miheev@mail.ru)  
тел.: +7(843)212-55-79



Михеев Николай Иванович

Сведения о ведущей организации:

Наименование: Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки «Федеральный исследовательский центр  
«Казанский научный центр Российской академии  
наук»  
Почтовый адрес: 420111, Российская Федерация, Татарстан, г. Казань,  
ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261  
Телефон: +7(843) 292-75-97  
E-mail: [presidium@knc.ru](mailto:presidium@knc.ru)  
сайт организации: <http://knc.ru/>

## СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Суховой Екатерины Александровны «Разработка системы выхлопа поршневого двигателя внутреннего сгорания малой мощности с улучшенными характеристиками для беспилотных летательных аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

№	Полное наименование организации, почтовый адрес, контакты	Фамилия, Имя, Отчество, ученая степень, ученое звание авторов отзыва, должность с указанием структурного подразделения	Список основных публикаций работников (авторов отзыва) ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (но не более 15 публикаций)
1	2	3	4
1	<p>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», 420111, Российская Федерация, Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, Веб-сайт: <a href="http://knc.ru/">http://knc.ru/</a>, Тел. +7(843) 292-75-97, эл. почта: <a href="mailto:presidium@knc.ru">presidium@knc.ru</a></p>	<p>Саушин Илья Ирекович, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории Гидродинамики и Теплообмена Института энергетики и перспективных технологий – структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН</p>	<p>1. Goltsman, A., &amp; Saushin, I. (2019). Flow pattern of double-cavity flow at high Reynolds number. <i>Physics of Fluids</i>, 31(6), 065101. doi.org/10.1063/1.5099702 (SJR Q1, Web of Science Core Collection, Scopus, impact factor 2.5) <a href="https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5099702">https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5099702</a></p> <p>2. Mikheev, N. I., Goltsman, A. E., Saushin, I. I., &amp; Dushina, O. A. (2017). Estimation of turbulent energy dissipation in the boundary layer using Smoke Image Velocimetry. <i>Experiments in Fluids</i>, 58(8), 97. doi: 10.1007/s00348-017-2379-x (SJR Q1, Web of Science Core Collection, Scopus, impact factor 1.832) <a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-017-2379-x">https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-017-2379-x</a></p> <p>3. Mikheev, N., Saushin, I., Paereliy, A., Kratirov, D., &amp; Levin, K. (2018). Cyclone separator for gas-liquid mixture with high flux density. <i>Powder technology</i>, 339, 326-333. doi:10.1016/j.powtec.2018.08.040 (SJR Q1, Web of Science Core Collection, Scopus, impact factor 3.331) <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591018306703">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591018306703</a></p> <p>4. Goltsman, A., Saushin, I., Mikheev, N., &amp; Paereliy, A. (2019). Generation of sinusoidal pulsating flows in the channels of experimental setups. <i>Flow Measurement and Instrumentation</i>, 66, 60-66 doi:10.1016/j.flowmeasinst.2019.02.006 (SJR Q2, Web of Science Core Collection, Scopus, impact factor 1.522). <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955598618301973">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955598618301973</a></p> <p>5. Mikheev, N., Saushin I., Kratirov D. (2019) Critical flow venturi with a step-wall diffuser. <i>Flow Measurement and Instrumentation</i> 68: 101589. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2019.101589 (SJR Q2, Web of Science Core Collection, Scopus, impact factor 1.522) <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955598619300652">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955598619300652</a></p>

6. Okhotnikov, D. I., Molochnikov, V. M., Mazo, A. B., Malyukov, A. V., Goltsman, A. E., & Saushin, I. I. (2017). Viscous near-wall flow in a wake of circular cylinder at moderate Reynolds numbers. *Thermophysics and Aeromechanics*, 24(6), 873-882. doi: 10.1134/S0869864317060063 (SJR Q3, Web of Science Core Collection, Scopus, impact factor 0.747) <https://link.springer.com/article/10.1134/S0869864317060063>
7. Kratirov, D. V., Mikheev, N. I., Molochnikov, V. M., Saushin, I. I., Tukhvatullin, A. R., & Fafurin, V. A. (2017). Radial Nozzles for Non-Cavitating Flow of Water at High Pressure Drops. *Measurement Techniques*, 60(9), 912-915. doi:10.1007/s11018-017-1292-2 (SJR Q4, Web of Science Core Collection, Scopus, impact factor 0.29) <https://link.springer.com/article/10.1007/s11018-017-1292-2>
8. Mikheev, N., Saushin, I., Goltsman, A., & Fafurin, V. (2018). Data of numerical simulation and experimental research on the design of a cyclone separator with a high flux density. *Data in brief*, 20, 1836-1843. doi:10.1016/j.dib.2018.08.210 (SJR Q1, Scopus) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340918310709>
9. Saushin, I. I., Molochnikov, V. M., & Mikheev, N. I. (2018). Stabilization of fluid flow rate upstream the verifiable instrument. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1105, No. 1, p. 012078). IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1105/1/012078 (SJR Q3, Web of Science Conference Proceedings Citation Index, Scopus) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1105/1/012078/pdf>
10. Mikheev, N. I., Saushin, I. I., & Goltsman, A. E. (2018). Phase evolution of terms of turbulent kinetic energy transport equation in the boundary layer of a pulsating flow. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1105, No. 1, p. 012025). IOP Publishing. (SJR Q3, Web of Science Conference Proceedings Citation Index, Scopus) doi:10.1088/1742-6596/1105/1/012025 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1105/1/012025/pdf>
11. Saushin, I. I., Mikheev, N. I., Goltsman, A. E., & Kratirov, D. V. (2018). Estimation of the nozzle with the stepped divergent section in critical flow regime. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1105, No. 1, p. 012004). IOP Publishing. doi :10.1088/1742-6596/1105/1/012004 (SJR Q3, Web of Science Conference Proceedings Citation Index, Scopus) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1105/1/012004/pdf>
12. Goltsman, A. E., Saushin, I. I., & Mikheev, N. I. (2018). Flow turbulence characteristics in channels under conditions of combined effect of pressure gradient and superimposed flow pulsations. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1105, No. 1, p. 012020). IOP Publishing. doi :10.1088/1742-6596/1105/1/012020 (SJR Q3, Web of Science Conference Proceedings Citation

			<p>Index, Scopus)  <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1105/1/012020/pdf">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1105/1/012020/pdf</a>  13. Goltsman, A. E., &amp; Saushin, I. I. (2018). Mechanism of turbulence generation in the logarithmic region of the boundary layer affected by the adverse pressure gradient. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1128, No. 1, p. 012011). IOP Publishing. doi :10.1088/1742-6596/1128/1/012011 (SJQR Q3, Web of Science Conference Proceedings Citation Index, Scopus)  <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1128/1/012011/pdf">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1128/1/012011/pdf</a>  14. Saushin, I. I., Goltsman, A. E., &amp; Salekhova, I. G. (2018). Estimation of turbulent diffusion transport in the boundary layer by the SIV method. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1128, No. 1, p. 012098). IOP Publishing. doi :10.1088/1742-6596/1128/1/012098 (SJQR Q3, Web of Science Conference Proceedings Citation Index, Scopus)  <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1128/1/012098/pdf">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1128/1/012098/pdf</a>  15. Mikheev, N.I., Saushin I.I., &amp; Goltsman A.E. (2017). Research of the boundary layer with an adverse pressure gradient by the Smoke Image Velocimetry method. Journal of Physics Conference Series, 899(6):062004 doi: 10.1088/1742-6596/899/6/062004 (SJQR Q3, Web of Science Conference Proceedings Citation Index, Scopus)  <a href="http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/899/6/062004/pdf">http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/899/6/062004/pdf</a></p>
--	--	--	--

Верно:

Главный учёный секретарь  
ФИЦ КазНЦ РАН кандидат  
химических наук

e-mail: [sufia@knc.ru](mailto:sufia@knc.ru)  
тел.: +7(843) 231-90-08



Зиганшина Суфия Асхатовна